

难加工材料磨削技术

Grinding Technology of Difficult-to-machine Materials

任敬心 康仁科 王西彬 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

难加工材料磨削技术

任敬心 康仁科 王西彬 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书共分8章,内容包括磨削的基本参数、难加工材料的材料特性和磨削加工性的评定、钛合金的磨削加工技术、高温合金的磨削加工技术、超高强度钢的磨削加工技术、不锈钢的磨削加工技术、典型工程陶瓷的磨削加工技术及单晶硅片的磨削加工技术。本书除阐明基本原理外,还重点论述了上述几种难加工材料的磨削加工性和表面完整性,并推荐了相应的磨削加工用量和砂轮参数,供从事难加工材料磨削加工的技术人员参考选用。

本书可作为机械制造业、飞机发动机制造业、航天飞行器制造业、船舶制造业、石油化工制造业等部门工程技术人员的专业书籍,也可作为大专院校有关专业本科生和研究生的教学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

难加工材料磨削技术 / 任敬心, 康仁科, 王西彬编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.1
ISBN 978-7-121-12489-1

I. ①难… II. ①任… ②康… ③王… III. ①难加工材料切削—磨削 IV. ①TG580.6
中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第240221号

策划编辑: 桑 昀

责任编辑: 谭丽莎

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 25 字数: 640千字

印 次: 2011年1月第1次印刷

印 数: 3500册 定价: 55.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着科学技术的进步和工业生产的发展,对机械产品及其零部件使用性能的要求越来越高,如要求材料的比强度高,耐高温,热强性高,能承受复杂应力及耐腐蚀等。为此,出现了许多新型难加工材料,如钛合金、高温合金、超高强度钢、不锈钢、新型结构陶瓷和功能陶瓷及复合材料等。为了提高零构件的抗疲劳强度,还出现了更多的新型难加工材料。由于难加工材料具有一系列优良的机械物理性能,所以它在航空、航天、航海、石油、化工等工业部门中得到了广泛的应用。

上述难加工材料的最大磨削特点是磨削力大、磨削温度高、砂轮易磨损、磨削比很低,表面完整性差。若被磨零件表面存在划伤、粗糙等有害的加工痕迹和微裂纹、大的残余拉应力、表面硬化和污染层、晶格畸变层等,则必将使零件的疲劳寿命降低。因此,改善难加工材料的表面完整性是提高当今磨削水平的技术关键。另外,在微电子制造工业中,利用超精密加工技术提高大直径单晶硅片的面型精度和表面完整性,同样也是集成电路(IC)制造的关键技术。

为了提高难加工材料的磨削加工性和表面完整性,国内外在难加工材料的磨削方面进行了广泛而深入的研究。这些研究主要集中在难加工材料的磨削机理、难加工材料的磨削加工性、难加工材料的表面完整性、适用于难加工材料的磨削液、立方氮化硼(CBN)超硬磨料砂轮在难加工材料磨削中的应用、砂轮修整技术、难加工材料的高速和超高速磨削、缓进给磨削、高效深切磨削、精密和超精密磨削及低应力磨削等。将这些宝贵的研究成果编纂成书,必将有助于提高难加工材料的磨削技术水平。

本书分为8章,第1章阐述了磨削的基本参数;第2章说明了与本书相关的难加工材料的物理机械性能,并论述了磨削加工性的评定方法;第3章至第7章分别介绍了钛合金、高温合金、超高强度钢、不锈钢及工程陶瓷的磨削加工技术;第8章介绍了单晶硅片的磨削加工技术。

本书可供从事难加工材料磨削加工的工程技术人员阅读使用,也可作为机械工程类专业研究生和本科生的选修课教材。

本书所涉及的难加工材料的磨削研究成果,有许多是在科研基金资助的条件下获得的。其中,钛合金的磨削曾得到国家自然科学基金及航空科研基金的资助;高温合金、超高强度钢及工程陶瓷的磨削不仅得到了航空科研基金的资助,还得到了航空工业总公司航空工艺研究中心的资助,在此对他们表示诚挚的谢意。

在本书的编著过程中,编著者参考了许多国内外专家学者的研究成果和资料图片,在此一并向这些专家、学者表示衷心的感谢。

参加本书编著的有任敬心(第1,2,3,4,6章)、康仁科(第5,8章)及王西彬(第7章)。马利杰和张银霞分别参加了第7章和第8章的编写。由于水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编著者
2011年1月

符号说明

A_c	接触面积
a	热扩散系数
a_f	平面磨削横向进给量
a_p	磨削深度
a_{eq}	当量磨削厚度
a_g	一个磨刃的未变形切屑厚度
\bar{a}_g	一个磨刃的未变形切屑平均厚度
a_{gmax}	一个磨刃的未变形切屑最大厚度
a_d	砂轮修整深度
a_s	砂轮切入加工表面的深度
a_{ds}	砂轮动态切入加工表面的深度
b	磨削宽度
b_s	砂轮宽度
\bar{b}_g	未变形切屑平均宽度
c	比热容
d_s	砂轮直径
d_w	工件直径
d_c	砂轮当量磨削直径
E	弹性模量
e_s	比磨削能
F_g	单颗磨粒的磨削力
F_n	法向磨削力
F_t	切向磨削力
F'_n	单位宽度法向磨削力
F'_t	单位宽度切向磨削力
f	频率
f_a	轴向进给量
f_r	径向进给量
f_d	砂轮修整进给量
G	磨削比
HB	布氏硬度
HRA	洛氏 A 标度硬度

HRC	洛氏 C 标度硬度
HV	已加工表面的显微硬度
HV'	金属基体显微硬度
K	刚度
K_{sc}	材料的静态断裂韧性
l_s	砂轮与工件的接触长度
l_{se}	外圆磨削时砂轮与工件的接触长度
l_{si}	内圆磨削时砂轮与工件的接触长度
l_{ss}	平面磨削时砂轮与工件的接触长度
l_w	磨削长度
N	加工硬化程度
N_d	砂轮动态有效磨刃数
N_s	砂轮单位面积静态有效磨刃数
N_l	砂轮单位长度静态有效磨刃数
N_e	磨削功率
n_s	砂轮转速
n_w	工件转速
\bar{p}	磨粒磨钝平面与工件表面的平均压强
\bar{p}_m	黏附平面与工件表面的平均压强
Q	热量
q	磨削接触区的总发热功率；砂轮与工件的速度比
q_d	砂轮与修整器的速度比
R_a	磨削表面粗糙度（轮廓算术平均偏差）
R_q	磨削表面粗糙度（轮廓均方根偏差）
R_z	磨削表面粗糙度（微观不平度十点高度）
R_w	传入工件热量的百分比
r_s	砂轮半径
T	砂轮耐用度
t	磨削时间
V_w	金属切除体积
V_w'	单位宽度金属切除体积
V_s	砂轮损耗体积
v_f	轴向进给速度
v_s	砂轮速度
v_w	工件速度
v_r	径向进给速度
W_w	磨屑重量
W_s	砂轮损耗重量
Z_w	金属切除率
Z_w'	单位宽度金属切除率

Z_s	砂轮损耗率
γ_g	磨刃前角
$\bar{\delta}$	单颗磨粒的平均磨损顶面积
α_a	砂轮黏附率（黏附面积占磨粒磨钝顶平面面积的百分数）
θ	磨削温度；磨粒顶锥半角
λ	热导率
λ_s	砂轮磨刃间距
λ_{sl}	砂轮连续磨刃间距
μ	摩擦系数
ρ	密度；磨粒钝圆半径
σ	残余应力
σ_b	抗拉强度
σ_{bc}	抗压强度
σ_s	材料屈服极限
τ	剪应力；时间常数
φ	砂轮与工件接触角

目 录

第 1 章 磨削的基本参数	1
1.1 磨削的特点	1
1.2 磨削参数	4
1.2.1 砂轮与工件的接触长度 l_s	4
1.2.2 砂轮有效磨刃数	5
1.2.3 一个磨刃的未变形切屑最大厚度 a_{gmax}	10
1.2.4 当量磨削厚度 a_{eq}	14
1.2.5 砂轮当量磨削直径 d_e	16
第 2 章 难加工材料的材料特性及磨削加工性的评定	17
2.1 常用难加工材料的分类和材料特性	17
2.1.1 钛合金	17
2.1.2 高温合金	20
2.1.3 金属间化合物基高温结构材料	23
2.1.4 超高强度钢	25
2.1.5 不锈钢	27
2.1.6 工程陶瓷	29
2.2 难加工材料磨削加工性的评定	32
2.2.1 以磨削力评定磨削加工性	33
2.2.2 以磨削温度评定磨削加工性	37
2.2.3 以磨削表面粗糙度评定磨削加工性	42
2.2.4 以磨削表面变质层评定磨削加工性	45
2.2.5 以磨削比评定磨削加工性	51
第 3 章 钛合金的磨削	56
3.1 钛合金的材料特性及磨削特点	56
3.1.1 钛合金的材料特性	56
3.1.2 钛合金的磨削特点	57
3.2 磨削钛合金的砂轮磨损	59
3.2.1 黏附磨损	59

3.2.2	磨粒的磨耗与破碎	63
3.2.3	扩散磨损	67
3.3	磨削钛合金的磨削力	69
3.3.1	黏附对磨削力的影响	69
3.3.2	黏附条件下的磨削力数学模型	70
3.3.3	钛合金磨削力的经验计算式	75
3.4	磨削钛合金的磨削温度	77
3.4.1	钛合金磨削温度场的理论计算	77
3.4.2	钛合金磨削表面温度及磨削温度场的测量	82
3.5	钛合金磨削表面完整性	86
3.5.1	表面粗糙度	86
3.5.2	磨削表层元素变化及气体杂质的污染	88
3.5.3	磨削表层的塑性变形	88
3.5.4	磨削表层显微硬度的变化	90
3.5.5	钛合金磨削烧伤表层的成分变化	92
3.5.6	磨削表层残余应力	92
3.5.7	疲劳性能	95
3.6	磨削钛合金的磨削液	97
3.6.1	钛合金对磨削液的要求	97
3.6.2	磨削液特性对磨削性能的影响	98
3.6.3	磨削钛合金的水溶性磨削液	99
3.6.4	磨削钛合金的磨削油	102
3.6.5	磨削钛合金的砂轮固体浸渗润滑剂	106
3.7	立方氮化硼 (CBN) 砂轮磨削钛合金	108
3.7.1	CBN 磨料的性能及 CBN 砂轮的种类	108
3.7.2	陶瓷结合剂 CBN 砂轮磨削钛合金	110
3.8	钛合金的缓进给磨削	115
3.8.1	缓进给磨削的特点	115
3.8.2	钛合金缓进给磨削的磨削温度和磨削烧伤	117
3.8.3	钛合金磨削表层的残余应力	121
3.8.4	缓进给磨削中抑制烧伤的措施	122
3.9	磨削钛合金的砂轮参数及磨削加工用量的选择	127

3.9.1	砂轮的选择原则	127
3.9.2	磨削加工用量的选择原则	130
3.9.3	磨削加工用量和砂轮参数的选择	132
第 4 章	高温合金的磨削	139
4.1	高温合金的材料特性及磨削特点	139
4.1.1	高温合金的材料特性	139
4.1.2	高温合金的磨削特点	141
4.2	高温合金的磨削力和磨削温度	142
4.2.1	高温合金的磨削力	142
4.2.2	磨削高温合金的磨削温度及磨削温度场	146
4.3	磨削高温合金的砂轮磨损	151
4.3.1	磨削高温合金时砂轮表面的黏附	151
4.3.2	磨削高温合金的磨削比	152
4.4	高温合金磨削表面完整性	154
4.4.1	高温合金的磨削表面粗糙度	155
4.4.2	高温合金磨削后的表层硬度变化	158
4.4.3	高温合金的磨削残余应力	161
4.4.4	高温合金磨削表层的微观组织变化	164
4.4.5	磨削表面完整性对高温合金材料疲劳强度的影响	167
4.5	高温合金的缓进给磨削	176
4.5.1	高温合金的缓进给磨削烧伤	176
4.5.2	缓进给磨削工艺的合理应用	181
4.6	磨削高温合金的砂轮参数及磨削加工用量的选择	186
4.6.1	砂轮的选择原则	186
4.6.2	磨削加工用量的选择原则	188
4.6.3	磨削加工用量和砂轮参数的选择	188
第 5 章	超高强度钢的磨削	196
5.1	超高强度钢的性能和磨削特点	196
5.1.1	超高强度钢的性能	196
5.1.2	超高强度钢的磨削特点	198
5.2	超高强度钢的磨削力和磨削温度	199
5.2.1	超高强度钢的磨削力	199

5.2.2	超高强度钢的磨削温度	203
5.3	超高强度钢的磨削烧伤及其判别方法	205
5.3.1	超高强度钢磨削烧伤表面的形貌	205
5.3.2	超高强度钢磨削烧伤表面酸洗后的形貌	207
5.3.3	超高强度钢磨削烧伤层的金相分析	209
5.3.4	超高强度钢磨削烧伤的巴克豪森噪声检测	211
5.4	超高强度钢磨削表面完整性	212
5.4.1	超高强度钢磨削表面粗糙度	212
5.4.2	超高强度钢磨削表层的显微硬度变化	214
5.4.3	超高强度钢磨削表层的残余应力	216
5.4.4	超高强度钢磨削表面完整性对疲劳强度的影响	221
5.5	超高强度钢低应力无烧伤磨削的措施	224
5.6	磨削超高强度钢的砂轮参数及磨削加工用量的选择	226
5.6.1	砂轮的选择原则	226
5.6.2	磨削加工用量的选择原则	227
5.6.3	磨削加工用量和砂轮参数的选择	227
第 6 章	不锈钢的磨削	233
6.1	不锈钢的材料特性及磨削特点	233
6.1.1	不锈钢的材料特性	233
6.1.2	不锈钢的磨削特点	234
6.2	磨削不锈钢的砂轮磨损	235
6.2.1	砂轮磨损特征	235
6.2.2	砂轮磨损率	239
6.3	磨削不锈钢的磨削力	242
6.3.1	砂轮黏附条件下的磨削力数学模型	242
6.3.2	砂轮磨损类型 I 的磨削力	245
6.3.3	砂轮磨损类型 II 的磨削力	246
6.3.4	砂轮磨损类型 III 的磨削力	246
6.4	不锈钢磨削表面完整性	249
6.4.1	磨削加工硬化和残余应力	249
6.4.2	不锈钢的磨削烧伤	250
6.4.3	不锈钢的磨削划伤	253

6.5	磨削不锈钢的砂轮参数及磨削加工用量的选择	260
6.5.1	砂轮的选择原则	260
6.5.2	磨削加工用量的选择原则	263
6.5.3	磨削加工用量和砂轮参数的选择	264
第7章	典型工程陶瓷的磨削	275
7.1	典型工程陶瓷的性能及磨削特点	275
7.1.1	典型工程陶瓷的组成与显微结构	275
7.1.2	典型工程陶瓷的性能及用途	279
7.1.3	典型工程陶瓷的磨削特点	282
7.2	典型工程陶瓷的磨削过程及磨削表面微观形貌	283
7.2.1	超硬磨料砂轮及其修整	283
7.2.2	工程陶瓷磨削的材料去除机理及磨削表面的形成	288
7.2.3	典型工程陶瓷磨削表面的微观形貌	293
7.3	典型工程陶瓷的磨削力	298
7.3.1	工程陶瓷磨削力的理论计算	298
7.3.2	陶瓷磨削力的经验计算式	302
7.3.3	陶瓷磨削力的频谱分析	303
7.3.4	陶瓷磨削力的特点	306
7.3.5	影响陶瓷磨削力的因素	308
7.4	典型工程陶瓷的磨削温度	310
7.4.1	工程陶瓷磨削温度的理论分析	311
7.4.2	工程陶瓷磨削温度的测量	314
7.4.3	磨削条件对工程陶瓷磨削温度的影响	318
7.4.4	工程陶瓷磨削温度的经验计算式	320
7.5	典型工程陶瓷磨削工艺参数的选取	321
7.5.1	砂轮性能参数	321
7.5.2	磨削加工用量	325
7.5.3	其他磨削条件的选择	330
7.6	典型工程陶瓷的磨削新工艺	331
7.6.1	工程陶瓷的高效深切磨削技术	331
7.6.2	工程陶瓷的定压力磨削法	332
7.6.3	工程陶瓷的镜面磨削法	333

7.6.4	工程陶瓷的超声振动磨削技术	338
第 8 章	单晶硅片的磨削	342
8.1	单晶硅的材料特性及磨削特点	343
8.1.1	单晶硅的材料特性	343
8.1.2	单晶硅片的磨削特点	345
8.2	单晶硅片的磨削技术	346
8.2.1	转台式磨削	346
8.2.2	硅片旋转磨削	347
8.2.3	双面磨削	348
8.3	硅片的超精密磨削机理	349
8.3.1	超精密磨削硅片材料去除机理	349
8.3.2	超精密磨削硅片表面的形成机理	355
8.4	硅片磨削表面完整性	362
8.4.1	磨削试验条件	363
8.4.2	磨削硅片的表面微观形貌和损伤	363
8.4.3	磨削硅片的亚表面损伤	365
8.5	硅片的磨削工艺参数的选择	377
8.5.1	工艺试验条件	377
8.5.2	工艺参数对磨削过程的影响及其选择	378
参考文献	381

第1章 磨削的基本参数

磨削的基本参数主要指磨刃几何参数、砂轮特性参数、砂轮与工件接触长度、砂轮有效磨粒(刃)数、未变形切屑厚度、磨削加工用量及砂轮当量磨削直径和当量磨削厚度等。这些参数将影响材料去除率、砂轮损耗率、磨削比、比磨削能、磨削力和磨削温度、加工精度及表面完整性等。为了提高磨削效率和改善加工表面质量,必须研究静态和动态磨削参数。

1.1 磨削的特点

磨削时所用的砂轮是由磨粒、结合剂和气孔组成的。若用 P_k 、 P_b 及 P_p 分别代表磨粒、结合剂和气孔体积所占砂轮体积的百分率,则有

$$P_k + P_b + P_p = 100\% \quad (1-1)$$

制造砂轮时,调整磨粒、结合剂和气孔体积的百分率,就会得到不同性能的砂轮。

制造砂轮用的磨粒晶体的生长机理不同,制粒过程的破碎方法也不同,且磨粒的形状是很不规则的。另外,由于砂轮结构和制造工艺方面的原因,磨粒在砂轮中的位置分布是随机的。因此,与其他加工方法相比,磨削有很多独特的特点。

1. 砂轮表面上同时参加切削的有效磨粒数不确定

图 1-1 给出了砂轮表层磨粒的空间分布。图中, xy 坐标平面即为砂轮外层工作平面,沿平行于 yz 坐标平面所截取的磨粒轮廓图即为砂轮工作表层的磨粒形貌图。从该图中可以看出砂轮磨刃间距 λ_s 及磨刃尖端距砂轮表面的距离 z_s 均不一定相等,因此在磨削过程中,有的切削刃是有效的,而有的切削刃是无效的;即使是有效切削刃,其切削截面积的大小也不相同。

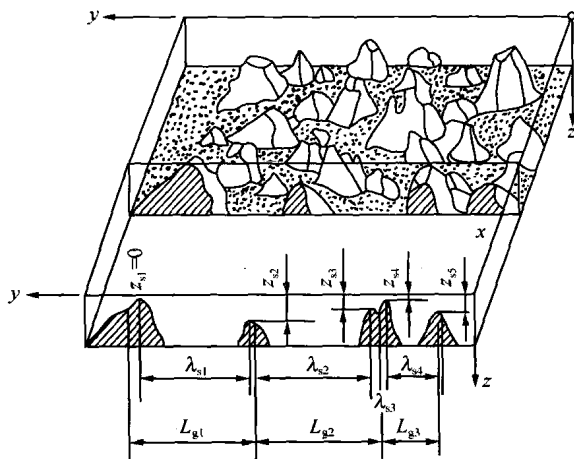
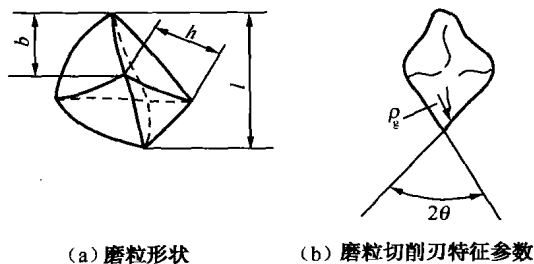


图 1-1 砂轮表层磨粒的空间分布

2. 砂轮上的磨刃前角为负值，形成负前角切削

磨粒的形状是很不规则的，如图 1-2 所示。磨粒切削刃特征可用顶锥角 2θ 及尖端圆弧半径 ρ_g 表示，它们与磨粒尺寸 b 的大小有关。实际上，每颗磨粒有多个顶尖，因而有多个顶锥角，按统计规律顶锥角在 $80^\circ \sim 145^\circ$ 之间变动。刚玉及碳化硅磨粒的顶锥角 2θ 及尖端圆弧半径 ρ_g 如表 1-1 所示。磨粒磨刃前角的大小与顶锥角有关。



(a) 磨粒形状

(b) 磨粒切削刃特征参数

图 1-2 磨粒的形状

表 1-1 刚玉及碳化硅磨粒的顶锥角 2θ 及尖端圆弧半径 ρ_g

粒度号	$2\theta / (^\circ)$		$\rho_g / \mu\text{m}$	
	刚玉	碳化硅	刚玉	碳化硅
36	110	107	35	30
60	108	104	18	16
80	106	104	13	8

磨粒的形状及它在砂轮表面上所处的位置和方向决定了磨刃的几何参数。砂轮上的磨刃前角 γ_g 为负值，如图 1-3 所示。一般 $\gamma_g = -60^\circ \sim -15^\circ$ 。根据 Opitz H 等人的研究结果知，刚玉砂轮经修整后的平均磨刃前角 $\bar{\gamma}_g = -80^\circ$ ，经过一段时间的磨削后（单位宽度金属切除体积 $V_w' = 500 \text{ mm}^3/\text{mm}$ ），由于机械和热磨损的缘故，磨刃前角的平均值 $\bar{\gamma}_g = -85^\circ$ ，且磨刃前角的分布范围减小，如图 1-4 所示。负前角切削将产生严重的塑性变形，会改变法向磨削力 F_n 和切向磨削力 F_t 的比例关系。磨削难加工

材料时，磨削力比 $F_n/F_t=2\sim 3$ ，而车削的 F_n/F_t 值在 0.5 左右。

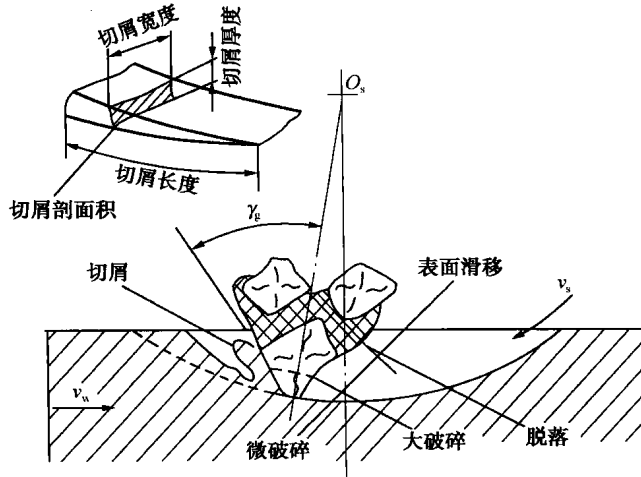


图 1-3 磨刀负前角及工作状态

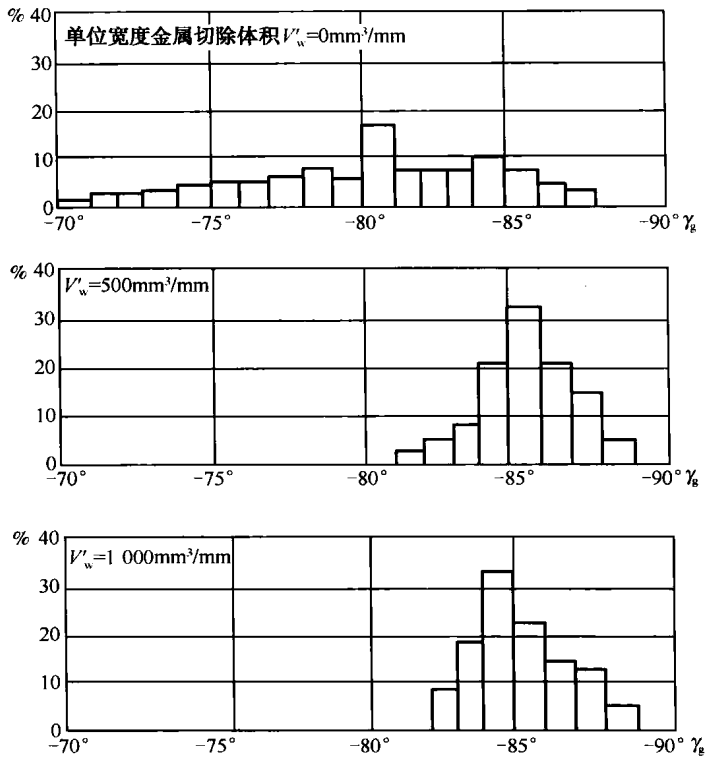


图 1-4 磨刀前角的分布范围

3. 切屑尺寸很小，单位磨削力很大

一颗磨粒切下的切屑体积很小，切屑厚度大约为 $10^{-4}\sim 10^{-2}\text{mm}$ ，切下的切屑体积也不过为 $10^{-5}\sim 10^{-3}\text{mm}^3$ 。根据尺寸效应原理知，在磨粒切屑厚度非常小的情况下，单位磨削力很大。磨削钢料时，单位磨削力约为 $70\ 000\sim 200\ 000\text{MPa}$ ，而其他切削加工方法的单位切削力均在 $7\ 000\text{MPa}$ 以下。

4. 磨削温度很高, 易产生磨削烧伤

磨削时, 砂轮速度 v_s 很高, 一般为 $20\sim 40\text{m/s}$, 高时可达 $80\sim 120\text{m/s}$ 。磨粒与被磨材料的接触时间很短, 约为 $10^6\sim 10^4\text{s}$, 所产生的磨削热会使磨削区形成高温 (约为 $400\sim 1000^\circ\text{C}$), 因而工件表面易烧伤, 并且因热应力和相变应力会使被磨表面的极薄层产生很大的残余拉应力。

5. 砂轮有自锐作用

在磨削过程中, 磨钝的磨粒在磨削力和热冲击的作用下, 会发生微破碎及大的破碎 (如图 1-3 所示), 从而形成新的刃口, 还可能发生磨粒脱落, 使新的磨粒裸露出来。这种不断更新磨粒切削刃的作用叫做自锐作用。磨削时, 由于自锐作用沿砂轮表面大体是一致的, 所以砂轮表面形状没有什么变化, 这与其他切削加工方法显著不同。在磨削过程中, 只有当砂轮特性参数选择合适时才会出现砂轮自锐。当砂轮过软时, 磨粒脱落过快, 砂轮损耗严重, 外形精度破坏; 当砂轮过硬时, 不但磨粒顶部有较大的磨损平面仍不会破碎和脱落, 而且会发生砂轮堵塞的情况, 使磨削过程恶化, 磨削质量变差。

1.2 磨削参数

1.2.1 砂轮与工件的接触长度 l_s

外圆磨削时, 磨粒点的运动轨迹应是延长内摆线。在有轴向进给的外圆磨削中, 磨粒除沿工件做圆周等速回转外, 还沿工件轴向做等速移动, 因此磨粒的运动轨迹为螺旋延长内摆线。由此可知外圆磨削的接触弧长应是延长内摆线。不过, 除了 r_s/r_w 及 v_w/v_s 比值特别大的情况外, 接触弧可认为是图 1-5 中所示的 \widehat{PBC} 。于是, 外圆磨削时砂轮与工件的接触长度 l_{sc} 可按下式计算:

$$l_{sc} = \sqrt{\left(1 \pm \frac{v_w}{v_s}\right)^2 + \left(\frac{f_a n_w}{v_s}\right)^2} \cdot \sqrt{\frac{d_s d_w a_p}{d_s + d_w}} \quad (1-2)$$

式中 v_s ——砂轮速度 (m/s);
 v_w ——工件速度 (m/min);
 f_a ——轴向进给量 (mm/str);
 n_w ——工件转速 (r/min);
 d_s ——砂轮直径 (mm);
 d_w ——工件直径 (mm);
 a_p ——磨削深度 (mm)。

式 (1-2) 中, “+” 号用于逆磨; “-” 号用于顺磨。

切入外圆磨削时, $f_a=0$, 则有

$$l_{set} = \left(1 \pm \frac{v_w}{v_s}\right) \sqrt{\frac{d_s d_w a_p}{d_s + d_w}} \quad (1-3)$$

同样, 内圆磨削时砂轮与工件的接触长度 l_{si} 可用下式计算: